

УДК 778.19

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПРИСТРОЇВ СКАНУВАННЯ ДЛЯ ПЕРЕНЕСЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЇ З ГАЛОГЕНІДОСРІБНИХ НОСІЇВ НА ЦИФРОВІ

*С.М. Андрєєв, канд. техн. наук
(Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського (ХАІ))
В.А. Жилін, канд. техн. наук
(Українська інженерно-педагогічна академія)
С.М. Трохимчук
(Українська інженерно-педагогічна академія)*

На підставі аналізу сучасних технічних засобів сканування зображень показана можливість їх широкого застосування для перенесення геоінформаційних даних з галогенідосрібних накопичувачів інформації на цифрові. Пропонується підхід до використання сенситометричних показників для оцінювання похибки відтворювання детальності у сканованому зображенні. Приведені експериментально отримані залежності похибки відтворювання детальності у сканованому іконічному зображенні поверхні Землі від розрізнення скануючого пристрою.

На основании анализа современных технических средств сканирования изображений показана возможность их широкого применения для переноса геоинформационных данных с галогенидосеребряных накопителей информации на цифровые. Предлагается подход к использованию сенситометрических показателей для оценки погрешности воспроизведения детальности в сканированном изображении. Приведены экспериментально полученные зависимости погрешности воспроизведения детальности в сканированном иконическом изображении поверхности Земли от разрешения сканирующего устройства.

On the basis of the analysis of modern means of scanning of images the opportunity of their wide application for carry of details from argentiferous stores of the information on digital is shown. The approach to use of

© С.М. Андрєєв, В.А. Жилін, С.М. Трохимчук, 2008

parameters for an estimation of an error of reproduction of detail in the image after scanning is offered. Experimentally received dependences of an error of reproduction of detail in the image of a surface of the Earth from the sanction of the scanner are resulted.

Сучасна динаміка накопичування, обробки та зберігання інформації воліє застосування цифрових (електронних) засобів, що, зокрема, обумовлено такою вимогою як оперативність щодо копіювання та розповсюдження певних матеріалів по зацікавлених інституціях.

Дотепер нагальною є потреба перенесення інформації з паперових та галогенідосрібних носіїв на прозорих та непрозорих основах до носіїв цифрових, тобто безпосередньо сумісних з комп'ютерними системами. Принаймні, у цьому безпосередньо зацікавлена переважна більшість існуючих інформаційних систем баз даних, зокрема державні системи обліку, зберігання та обробки статистичних і архівних даних, державні служби технічного захисту інформації, геоінформаційні системи, тощо.

При цьому слід зауважити, що перехід до отримання інформації одразу на цифрові носії (наприклад, іконічних зображень поверхні Землі в системах дистанційного зондування та повітряної розвідки) відбувається саме у теперішній час. Принаймні, щодо системи взаємного міждержавного спостереження за міжнародною програмою Open Skyes, то перші сертифікаційні польоти з цифровою апаратурою повітряного спостереження відбулись у перші роки XXI століття [1]. Проте для прогнозування еколого-економічного розвитку, просторово-часових змін ландшафту, розвитку зон екологічного ризику тощо, тобто для повноцінного функціонування систем геоінформаційного моніторингу вочевидь необхідно мати технічну можливість перенесення на цифрові носії інформацію, що було накопичено раніше з використанням аналогових носіїв, найпоширенішими з яких є галогенідосрібні, тобто аерофотоплівки, аерофотоплатівки, аерофотопапери.

Аналіз сучасних пристроїв сканування щодо придатності для оцифровки іконічних зображень

На сьогодні такими пристроями, що будь-які зображення на папері або прозорій плівці переводять у цифрову форму, майже нехильну до втрат якості при копіюванні та зберіганні, є сканери.

Враховуючи різноманітність технологій сканування та велику кількість моделей пристроїв вводу зображень, вони можуть бути класифіковані за наступними ознаками:

- спосіб формування зображення (лінійний, матричний);
- конструкція кінематичного механізму (ручний, настільний, комбінований);
- тип зображення, що вводиться (чорно-білий, напівтоновий, кольоровий);
- ступінь прозорості оригіналу (відбиваючий, прозорий);
- апаратний інтерфейс (стандартний, спеціалізований).

Класифікація пристроїв для сканування зображень приведена на рис. 1.

При класифікації сканерів враховуються конструктивні особливості приладів і, відповідно, деякі відмінності в процесах сканування. На відміну від традиційних засобів сканування, зображення в відеосистемах і цифрових фотокамерах для захоплення зображення тримірних об'єктів, як правило, застосовується матриця датчиків. Незважаючи на велику кількість пристроїв вводу зображення, їх можна класифікувати за наступними ознаками:

Кінематичний механізм. За цим пристроєм сканери підрозділяють на дві основні групи — ручні та настільні.

Ручні сканери можуть бути використані для сканування малоформатних зображень оригіналів або фрагментів великого зображення. Низька ціна обумовлена простотою їхньої конструкції. Необхідність застосування м'язової сили людини, а також обмеження поля охоплення зображення — основні особливості цих пристроїв. До недоліків слід віднести, насамперед, неточність сканування, обумовлену саме принципом використання.

Настільні сканери. До цієї категорії належать планшетні, роликіві, барабанні та проєкційні сканери.

Планшетні сканери. В цих сканерах (плаского типу) робочу ділянку сканування утворює пласка скляна поверхня. Як правило вони використовуються в настільних видавницьких системах для виводу графіки і тексту з носіїв формату А4 або А3.

Роликіві сканери (інша назва — протяжні, листові). В них оригінал послідовно, лінія за лінією пропускається через ролики механізму подачі паперу і потрапляє в поле зору лінійки датчиків.

Барабанні сканери. Цей вид сканерів дорогий, але з їх допо-

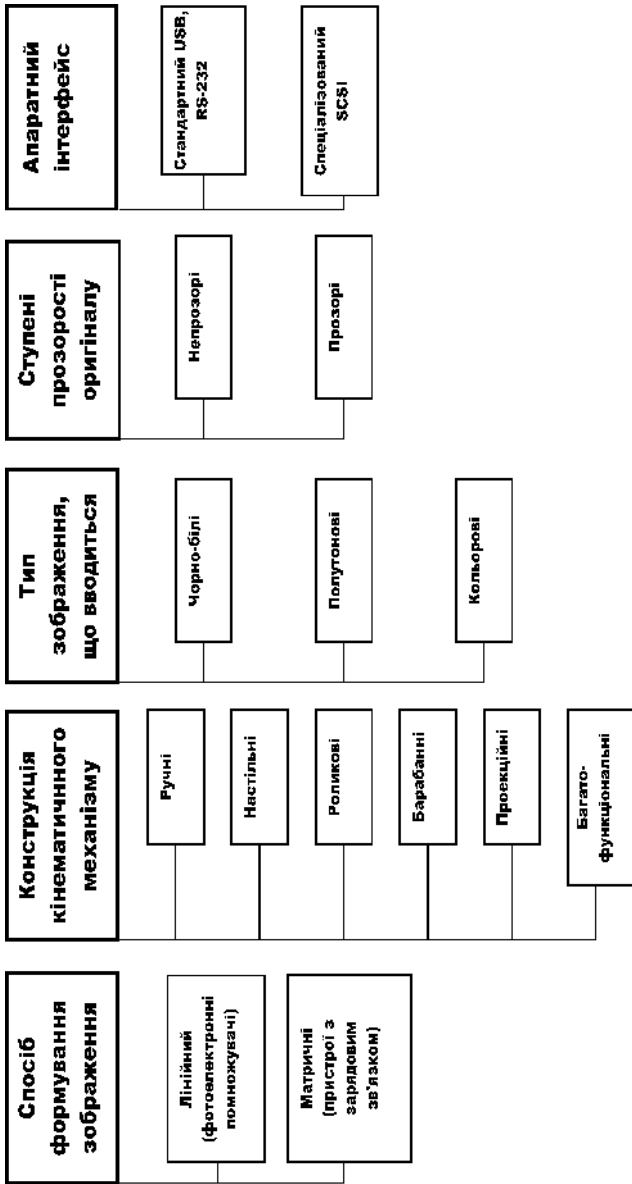


Рис. 1. Класифікація пристроїв для сканування зображень.

могою можливо отримати зображення з високим ступенем деталізації, які в свою чергу можуть бути використані для подальшого ретушування, кольоровиділення і, нарешті, формування кінцевого варіанта подання листа видання або плівки для виготовлення відбитка пластини.

Проекційні сканери нагадують фотозбільшувач і працюють майже як фотографічна камера. Основною особливістю проекційних сканерів є можливість сканування тримірних об'єктів.

Перша функція сканера — служити мостом між папером і електронним документообігом. Незважаючи на те, що всі документи зберігаються в електронному (цифровому) вигляді, деякі з них повинні розсилатися і підшиватися у надрукованому вигляді на папері, підписаному керівником і затвердженому круглою печаткою.

Крім тексту, до розряду документів належать нескладні рисунки, графіки, схеми, що не потребують для свого відображення високої якості. Для цих випадків використання сканера покриває 80% можливого його застосування.

На долю інших 20% припадає високоточне сканування зображень як надрукованих на папері (фотопапері), так і негативів та слайдів на прозорій підкладці.

В процесах сканування фотографій між сканером і комп'ютером циркулюють величезні об'єми інформації, і, отже, необхідні високошвидкісні засоби передачі даних, потужні програмні графічні пакети та швидкі комп'ютери (графічні станції) [1].

Все вищесказане відноситься переважно до центрів обробки геоінформації, отриманої за допомогою повітряного спостереження, що оперує відбитками, які дорівнюють площам понад декілька сотень квадратних кілометрів [2]. Проте при загальній приблизній рівності характеристик сканерів деякі з них, залежно від призначення, придатні до вирішення завдань обробки будь-якої статистичної інформації, у тому числі іконічної інформації високої детальності, а саме:

а) *протяжний сканер* — дешевий, компактний офісний сканер, відмінний від найпростішого ручного сканерау наявністю протягування листа паперу. В практиці нагадує принтер. Але замість друкуючого картриджу сканер забезпечений лінійною ПЗС (привід з зарядним зв'язком CCD), рідше лінійкою (КМОП SIS), ще рідше сканування йде за двома координатами точковим датчиком.

Прикладом останнього приладу може служити приставка до фотопринтера Canon, що вставляється замість картриджу. Тут процес сканування є повною інверсією кольорового друку і зображення сканується по ширині при русі каретки, а по висоті — при переміщенні паперу. Формат документа може досягати А3. Додаткова перевага протяжного сканера в тому, що до нього, як до принтера можна завантажити стопку документів і вони послідовно скануватимуться без участі людини. Основний недолік — неможливість сканування матеріалів на твердій основі;

б) *планшетний сканер* — найпоширеніший тип сканера, що закривається кришкою, під яким ходить каретка з освітлювачем і лінійкою ПЗС, рідше КМОП. Тип світлоприймача не так давно визначався з міркувань економії вартості і габаритів по висоті сканера, але тепер практично завжди використовуються ПЗС лінійки. Важливим етапом був перехід на швидку (з порівняно повільною шиною паралельного порту) шину USB. Недолік — велика площа, що зайнята на робочому місці, біля 150% від формату оброблюваного документа. Найпотужніші планшетні сканери мережного підключення, так само як і протяжні, забезпечуються механізмами автоматичної подачі листів;

в) *слайд-приставка до планшетного сканера* — додатковий блок (модуль), що встановлюється на його контактне скло, дає змогу сканувати на просвіт матеріали на прозорій основі (слайди та негативи). Звичайно, тут присутній другий освітлювач, що вмикається при відключенні трубчастої лампи під контактним склом, але існують і витонченіші оптичні схеми, що направляють світло від нижньої лампи через сканований зразок. У зв'язку зі зниженням вартості слайд-приставок другий варіант пристрою зараз не застосовується.

Принципових недоліків у слайд-приставок два:

- недостатній для сприйняття фотоматеріалу динамічний діапазон світлоприймача (тут фотоприймач на базі КМОП взагалі не застосований),

- недостатнє розрізнення;

г) *слайд-сканер* — позбавлений недоліків слайд-приставки, оскільки розрахований виключно на сканування прозорих (на просвіт) зразків малого (в порівнянні з А4) формату, навіть слайдових негативів 6х9. Особливістю слайд-сканерів є велика глибина різкості

їх оптики, що дає можливість отримати високе розрізнення при скануванні з кольорового негатива. Побутові розраховані на 35 мм плівку і коштують порівняно недорого — 200—300 ум. од., а професійні можуть приймати будь-який формат плівок будь-якої довжини, проте коштують від 1000 до декількох тисяч (десятків) ум. од. До ціни, крім того, входить ціна вельми дорогого програмного забезпечення. Такого, наприклад, що забезпечує видалення з зображення слідів пилу і неглибоких подряпин оригіналу. Високе розрізнення і великий формат професійних слайд-сканерів вимагають використання для передачі даних у комп'ютер швидкісних шин типу SCSI Firewire і USB 2.0. Недолік — неможливість сканування кольорових фотографій і документів.

д) *флеш-сканер* або цифровий фотоапарат як сканер (оптична насадка на об'єктив цифрового фотоапарату) дозволяє знімати 35мм слайд або негатив на цифровий носій. Перевага — невелика ціна та миттєвість результату оцифрування при якості, аналогічній звичайній цифровій фотографії. Недолік знімків — відблиск від спалаху, який дає глянцева поверхня оригіналу, проте його можна подолати за допомогою двох дифузних софітів. Технічні характеристики розповсюджених типів сканерів приведено у таблиці 1 [2]. На підставі аналізу типів документів, які обробляються з метою обліку статистичної інформації, пропонується насамперед використовувати такі типи сканерів:

- планшетний — для обробки документів на паперовій основі;
- плівочний — для обробки документів на основі різних видів плівок.

На вибір типу сканера впливає кольорова характеристика зображення та тип носія графічної інформації, а також ступінь прозорості оригіналу. Зрозуміло, що вибір сканера також обумовлюється співвідношенням ціна/продуктивність.

Найважливішою характеристикою скануючого пристрою є розрізнявальна здатність, що може визначатись також його частотно-контрастною характеристикою.

Розрізнення в пікселях — це характеристика, прийнята в еру комп'ютерів. До цього в телебаченні його виміряли числом рядків на екрані, а ще раніше у фотографії — числом ліній (елементів зображення) на міліметр. Точки на дюйм (dpi) як одиниці розрізнявальної здатності використовуються для принтерів та ска-

Таблиця 1 — Технічні характеристики розповсюджених типів сканерів

Найменування моделі	Еpson Perfection 1670 Photo	Еpson Perfection 3200 Photo	HP ScanJet 3970	Cannon CannonScan FS4000US	Minolta DIMAGE ScanEhtc	Nikon Super COOLSCAN
Тип сканера	планшетний	планшетний	планшетний	плівковий	плівковий	плівковий
Використовуваний датчик	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD
Оптичне розрізнення, dpi	1600	3200	2400	4000	5400	4000
Апаратне розрізнення, dpi	1600х3200	3200х6400	2400х2400	4000х4000	5400х5400	4000х4000
Глибина представлення кольору, біт	48	48	48	42	48	48
Інтер'єси	USB 2.0	USB 2.0 FireW	USB 1.1	USB 1.1 SCSI-2	USB 2.0 FireWire	FireWire
Слайд-адаптер в комплекті	+	+	+	н/д	н/д	н/д
Кількість оброблених 35 мм плівок	3	12	3	6	6	6
Технологія видалення пилю	HID	HID	-	FARE	Digital ICE	Digital ICE
Габаритні розміри, мм	275х419х64	304х476х122	298х472х90	92х368х144	65х360х165	н/д
Середня роздрібна ціна, ум. од.	125	390	135	875	1019	1700

Оцінка похибки відтворення детальності

Тип АФМ	Розрізнення АФМ, л/мм	Розмірність розрізнення	Висота застосування							
			300				500			
Тип 42	110		Розрізнення							
		dpi	1200	2400	4800	7200	9600	1200	2400	4800
		л/мм	48	96	192	288	384	48	96	192
			Розрізнення сканованого							
	л/мм	33,4	51,3	69,9	79,6	85,51	33,4	51,3	69,9	
Тип АФА	Фокусна відстань, м		Детальність							
ПА 420	0,09	до сканування	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,025	0,025	0,025
		після сканування	0,050	0,033	0,024	0,021	0,019	0,083	0,054	0,040
		різниця	0,035	0,017	0,009	0,006	0,004	0,058	0,029	0,014
		відн. похибка, %	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4
АФА 41/10	0,1	до сканування	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,023	0,023	0,023
		після сканування	0,045	0,029	0,021	0,019	0,018	0,075	0,049	0,036
		різниця	0,031	0,016	0,008	0,005	0,004	0,052	0,026	0,013
		відн. похибка, %	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4
АФА 41/20	0,2	до сканування	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,011	0,011	0,011
		після сканування	0,022	0,015	0,011	0,009	0,009	0,037	0,024	0,018
		різниця	0,016	0,008	0,004	0,003	0,002	0,026	0,013	0,007
		відн. похибка, %	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4

в процесі оцифровки аерофільму

аерофотоапарату, м											
1000						2000					
сканера											
7200	9600	1200	2400	4800	7200	9600	1200	2400	4800	7200	9600
288	384	48	96	192	288	384	48	96	192	288	384
аерофотозображення											
79,6	85,51	33,4	51,3	69,9	79,6	85,51	33,4	51,3	69,9	79,6	85,51
аерофотозображення, м											
0,025	0,025	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
0,035	0,032	0,166	0,108	0,079	0,070	0,065	0,332	0,217	0,159	0,140	0,130
0,010	0,007	0,116	0,058	0,029	0,019	0,014	0,231	0,116	0,058	0,039	0,029
27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3
0,023	0,023	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
0,031	0,029	0,150	0,098	0,071	0,063	0,058	0,299	0,195	0,143	0,126	0,117
0,009	0,007	0,104	0,052	0,026	0,017	0,013	0,208	0,104	0,052	0,035	0,026
27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3
0,011	0,011	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
0,016	0,015	0,075	0,049	0,036	0,031	0,029	0,150	0,098	0,071	0,063	0,058
0,004	0,003	0,052	0,026	0,013	0,009	0,007	0,104	0,052	0,026	0,017	0,013
27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3

нерів. Проте вони мають у два рази більші значення в порівнянні з лініями на дюйм, адже під лінією розуміється сама лінія і проміжок між нею і сусідньою, а під точкою — тільки сама точка. Тобто при оцінці це означає, що ліній на дюйм в два рази менше, ніж точок. Виміряти їх можна вставивши в сканер тест-об'єкт (зображення чорних і білих смуг різної ширини від одного міліметра до одного мікрона) і подивитись на моніторі при максимальному збільшенні відтворення цього тест-об'єкта (міри).

Там, де вже не можна відрізнити світлу смужку від темної, розрізнення відсутнє і, отже, робоче розрізнення сканера рівне попередньому значенню кількості ліній на дюйм. Розрізнення визначається за яскравістю або за зеленим каналом (кривій видимості), оскільки око найбільш чутливе до цієї зони спектра. Можна надрукувати міру на принтері і за допомогою лупи (краще мікроскопа) визначити, де закінчується розрізнення принтера. Але у такому разі присутня методична помилка — на принтер виводиться вже спотворене сканером зображення. Взагалі-то ланцюжок може бути ще довшим: об'єktiv плівкового фотоапарата — плівка — об'єktiv збільшувача (мікрооб'єktiv) — фотопапір (мікрофільм) — сканер — принтер.

Для того щоб оцінити внесок кожної ланки репродукційного процесу до втрати розрізнення, використовують частотно-контрастну характеристику (ЧКХ), що показує, як зменшується контраст між світлими і темними смугами із збільшенням просторової частоти (кількості ліній на дюйм). Вона схожа на амплітудно-частотну характеристику і дозволяє встановити, яку ланку в ланцюзі треба вдосконалити в першу чергу, щоб підняти сумарне розрізнення всього процесу репродукції [3].

Розрізнення залежить від контрасту зображення. При нульовому контрасті його просто немає, а при абсолютному контрасті розрізнення максимальне. Контраст, або коефіцієнт контрастності — це тангенс кута нахилу кривої тонопередачі (так званої характеристичної кривої) на прямолінійній ділянці. Ідеальна крива тонопередачі — це пряма лінія, що починається з початку координат під кутом 45 градусів. Але якщо репродукційний процес не ідеальний, то замість прямої лінії вийде крива — звідси і назва. Якщо кут менший, то відбувається втрата контрасту, більший — контраст неприродно високий.

Аналізуючи характеристичну криву, можна дізнатися про процес репродукції. При недостатній експозиції яскравість у копії нижча, ніж в оригіналі, а оскільки діапазон відтворення обмежений, всі темні деталі втрачаються — вони передаються однаковими, тому що контраст дорівнює нулю. При перетримці темні деталі відтворюються повністю, проте втрачаються світлі. Відповідно, різкий контраст передачі приводить до лінійних спотворень, а спотворення градаційної характеристики — до нелінійних, пряма перетворюється на ламану.

Координати кожного кольору на такому тлі виражають відтінок (Hue) від фіолетового до темно-червоного, насиченість кольору (Saturation) від безбарвного до максимально чистого кольору і яскравість кожного кольору від абсолютно білого до абсолютно чорного (Lightness). У більшості випадків для оцінки точності перенесення кольору застосовують триколірну колориметрію, що дозволяє не тільки заміряти окремі кольори, але і весь процес перетворення кольорів. Основним постулатом колориметричної теорії є той факт, що все різноманіття кольорів можна відтворити, маючи всього три джерела світла: синій, зелений і червоний. Людське око може відрізнити один від одного близько 10 тис. кольорів, але в різних зонах спектру чутливість різна.

Важливою характеристикою кольору є колірний баланс або колірна температура. Око людини легко адаптується до будь-яких умов і визначає білий колір при будь-якому освітленні, чого не можна сказати про фотоплівки і цифрові камери. Так, при збільшенні сонячного світла зображення в копії більш синє, ніж насправді, а при освітленні лампами розжарювання — більш жовте, тобто порушується колірний баланс. Гірше виходить під час знімання в неприродному світлі флуоресцентних, натрієвих і ртутних ламп, оскільки їх колірний баланс не відповідає так званій колірній температурі. Багато в чому колірні спотворення в репродукції проходять не поміченими через властивість колірної пам'яті людини, яка береже зовсім невелику кількість знайомих кольорів, наприклад, колір неба, шкіри обличчя певної національності, зелені, цегляної стінки — ці кольори є вельми критичними і похибки їх перенесення легко виявляються. Похибки передачі решти відтінків при неможливості порівняти репродукцію і оригінал не такі помітні.

Теорія кольорової репродукції встановлює правило порівняння кольорового оригіналу і його копій за допомогою об'єктивних числових параметрів. Стосовно фотопроцесів такий метод носить назву фотографічної сенситометрії. Він дозволяє не тільки дати відповідь на питання про точність кольоровідтворення, але й оптимально побудувати процес аналогової чи цифрової фотографічної репродукції документів.

Щоб максимально повно використовувати можливості наявної апаратури необхідно, щоб крива відтворення нейтрально-сірої шкали являла собою пряму, що виходить із початку координат під кутом 45 градусів.

Це досягається певною настройкою репродукційної апаратури, а саме:

а) яскравості — значення параметра Brightness в сканері і принтері або значення корекції експозиції у фотоапараті (в ручному режимі зйомки);

б) контрасту — значення параметра Contrast або Gamma;

в) колірної насиченості — значення параметра Saturation;

г) колірного балансу — значення колірної температури (або найменування) джерела світла при фотографуванні цифровою фотокамерою (баланс «рівня білого»);

д) різкості — значення необхідного розрізнення в сканері або цифровій камері.

Таким чином, головним параметром при виборі типу пристрою для сканування зображень документальних матеріалів є розрізняльна здатність.

З урахуванням того, що документальні матеріали, які підлягають оцифруванню для подальшої обробки та зберігання, можуть мати елементи іконічної інформації, важливим є питання розрахунку детальності для різних типів сканерів.

На сьогодні існує спеціальний тип сканерів — фотограмметричні, які призначені для обробки рулонних плівкових матеріалів. Перші моделі фотограмметричних сканерів для комерційного використання з'явилися на початку 1990-х рр., коли розвиток комп'ютерної техніки створив передумови для переходу від аналогової фотографічної документації до цифрової. Цифрове фотодокументування протягом декількох років зросло до промислового рівня, поставивши основним завданням питання забезпечення високої точності при скануванні матеріалів іконічних зображень.

Саме фотограмметричні сканери провідних виробників, таких як Leica Geosystems (Швейцарія) і Zeiss (Німеччина), забезпечуючи високу геометричну точність у 2–3 мкм, дозволили цифровому фотодокументуванню вийти з лабораторій в реальне виробництво. Причому вартість таких сканерів досягала декількох сотень тисяч доларів.

Висока вартість спеціалізованих сканерів породила масу дискусій про можливість застосування дешевших поліграфічних і навіть «побутових» сканерів у фотодокументальному виробництві. Принципова можливість такого використання очевидна, але випадкові залишкові погрішності принципово не дають добитися на таких сканерах геометричної точності вище, ніж 10 мкм. Ціна професійних поліграфічних сканерів часто виявляється рівною за ціною молодших моделей фотограмметричних сканерів. Реальна точність сканерів вартістю до 10 тис. дол., звичайно, лежить в межах 20–50 мкм. Проте, навіть такої точності виявляється достатньо для певних застосувань у документальному діловодстві щодо переведення галогенідосрібних мікрофільмокопій в електронний цифровий формат.

Характеристики сучасних моделей фотограмметричних сканерів приведені у таблиці 2 [1, 3].

Різниця в точності між фотограмметричними і звичайними сканерами досягається за рахунок того, що фотограмметричні сканери використовують високоточні датчики лінійних переміщень і сервоприводи зворотнім зв'язком. Датчик лінійних переміщень має розрізнення 0,5–1,0 мкм і гарантовану точність у 2,0–3,0 мкм. Сервопривід використовує прецизійний двигун постійного струму з мікропроцесорним контролером, що дозволяє відстежувати і відпрацьовувати мікронні відхилення в переміщенні. Визначальним чинником точності є технологія виготовлення. Конструктивно фотограмметричний сканер обов'язково має масивну основу, що виготовляється із спеціальної сталі, оброблені і виставлені з високою точністю, прецизійні підшипники і т. д. Окремої уваги заслуговує оптика, адже показники дисторсії у стандартних «побутових» об'єктивів обчислюють у десятках мікрон. У фотограмметричних сканерах використовуються дорогі об'єктиви з малою дисторсією, найчастіше — дзеркальні.

Розглянемо основні особливості конструкції та можливості фотограмметричних сканерів.

Таблиця 2 — Характеристики сучасних моделей фотограмметричних сканерів

Виробник	Leica Geosystems	Z/I Imaging	Vexcel	НПП “Геосистема”
Модель	DSW600	PhotoScan	UltraScan	DeltaScan-5
Тип сенсора	ПЗС - матриця 2000*3000*10 μ m	ПЗС - лінійка 3*5632*7 μ m	ПЗС - лінійка 3*6000*12 μ m	ПЗС - лінійка 3*5120*8 μ m
Формат, мм	260*260	275*250	265*252	260*260
Сканування тільму	автоматичне	автоматичне	автоматичне	автоматичне
Максимальний діаметр тільму, мм	194	194	194	168
Геометрична точність (СКО), мкм	<2	<2	2	2
Мінімальний розмір пікселя, мкм	4,5-22 (з кроком 3 мкм)	7	5	8
Радіометричне розрізнення, біт	12	10	12	12
Діапазон оптичної щільності, D	> 2,5	2,5	3,5	2,7
Освітлювач	Ксенонова стробоскопічна лампа	Галогенна лампа	Люмінісцентна лампа	Потужні світлодіоди
Об'єктив	Лінзовий Schneider 120 mm	Дзеркальний Carl Zeiss	Лінзовий	Дзеркальний “Арсенал”
Швидкість сканування (ч/б)	2 хв при 12,5 мкм	< 6 хв при 14 мкм	16 хв при 10 мкм	6 хв при 16 мкм
Швидкість сканування (колір)	5 хв при 12,5 мкм	< 6 хв при 14 мкм	8 хв при 15 мкм	15 хв при 16 мкм
Джерела інформації в Інтернет	www.dataplus.ru	Imgs.intergraph.com	www.vexscan	vingeo.com

Тип сенсора. Більшість сканерів використовують лінійний світлочутливий датчик (кольорову ПЗС-лінійку), що складається з декількох тисяч елементів (пікселів), розміром 5–10 мкм кожен. Ширина ПЗС-лінійки визначає смугу на знімку, яку сканер здатний відсканувати за один прохід. Використання площинного фотоприймального елемента (ПЗС-матриці) дозволяє істотно прискорити процес сканування, проте вимагає потужнішого освітлювача і підвищує вимоги до його калібрування.

Формат. Стандартом для сканерів є формат кадру, розміром 230х230 мм (ширина фільму 240 мм). Деякі моделі дозволяють сканувати знімки більшого формату, аж до 320х470 мм, наприклад, сканер DeltaScan-470 (НПП «Геосистема»). Цей сканер спеціально призначений для широкоформатних космічних знімків.

Сканування фільму. Автоматичне сканування фільму вигідне при значних об'ємах сканування. Оскільки відстань між кадрами фільму може бути різною, то система автоматичного перемотування повинна мати функцію пошуку краю знімка, визначення пропусків і т.д. Цифрові знімки, які відскановані на сканері-автоматі, мають однакові відступи, що значно прискорює подальшу процедуру автоматичного внутрішнього орієнтування. Крім того, сканер-автомат може автоматично виконати вибіркове попереднє сканування всього фільму або його частини для визначення оптимальних параметрів сканування. Фотограмметричний сканер-автомат здатний за 20–30 годин без втручання оператора відсканувати фільм, що містить біля 300 знімків, розміром 240х240 мм.

Максимальний діаметр фільму. Стандартний фільм, шириною 240 мм, має довжину 76 м і діаметр 132 мм. Такий фільм містить майже 300 знімків. Фільм подвоєної довжини має діаметр 194 мм і довжину 152 м. Залежно від товщини плівки, ці показники можуть змінюватися. Щодо мікрофільмів розповсюдженого формату 35х1600 мм виробничі потужності фотограмметричних сканерів є безперечною перевагою.

Геометрична точність є основним параметром сканера, який визначається за допомогою спеціальної контрольної сітки, нанесеної з мікронною точністю на скляну пластину. В результаті вимірювання (зазвичай автоматичного) декількох десятків хрестів на відсканованому зображенні сітки визначається середньоквад-

ратична похибка сканування. У сучасних сканерів ця похибка не перевищує ± 2 мкм для кожної координатної осі.

Мінімальний розмір пікселя. При використанні дзеркального об'єктива, що зазвичай має збільшення 1:1, мінімальний піксель співпадає з розміром пікселя ПЗС-сенсора. Наприклад, 7 мкм у PhotoScan або 8 мкм у DeltaScan. Інші розміри, кратні мінімальному, виходять за допомогою цифрового складання і усереднювання початкових пікселів. Так, чотири 8-мікронні пікселі (2×2) дадуть у результаті один 16-мікронний. При цьому не відбувається втрати якості зображення, оскільки замість інтерполяції (вставки нових пікселів) виконується зворотна операція (усереднювання), яка крім всього іншого знижує шум зображення. Інші розміри, не кратні мінімальному, можуть бути одержані тільки в результаті програмного перерахунку (ресемплінгу). При цьому завжди відбувається певна втрата якості початкового зображення. Для усунення цієї проблеми деякі сканери мають оптичну систему із змінним збільшенням, яка дозволяє налаштувати сканер на будь-який «базовий» піксель.

Недоліком такого методу є необхідність використання лінзових об'єктивів замість дзеркальних, що вносить додаткові спотворення (дисторсія, аберація) і знижує реальну роздільну здатність системи на малих контрастах.

У практичній роботі дуже рідко використовується сканування з мінімальним розміром пікселя. Звичайне значення пікселя сканування для чорно-білих оригіналів становить 12—24 мкм, а для кольорових — 16—32 мкм. Середньоквадратична помилка, що вноситься в подальші вимірювання за рахунок дискретизації, становить 1/4 розміру пікселя, так що вона відповідає помилці наведення і пізнання оператора (4—6 мкм).

Радіометричне розрізнення. Крім геометричної дискретизації (розмір пікселя), сканер також виконує радіометричне квантування, тобто вимірює і переводить у цифровий вигляд яскравість у кожній точці зображення. Чим більше біт використовується при переведенні до цифрового вигляду, тим більше градацій яскравості здатний розрізнити сканер. Так 12-бітовий дозвіл відповідає 4096 градаціям, 10-бітове — 1024 і т. д.

Високий дозвіл дає змогу без втрат сканувати малоконтрастні знімки, витягати інформацію в тінях. Проте надмірне збільшення радіометричного дозволу не дає бажаного ефекту, оскільки дина-

мічний діапазон ПЗС-сенсорів (відношення корисного сигналу до шуму) звичайно не перевищує декількох тисяч. Для зниження рівня шумів деякі виробники, наприклад, Vexcel, використовують примусове охолодження ПЗС-лінійки. Власні шуми плівки (зерно) звичайно набагато перевищують шуми відеосистеми сканера і тому часто виявляються вирішальним чинником якості.

Діапазон щільності. Такий параметр безпосередньо пов'язаний з радіометричним розрізненням, проте також залежить від інших параметрів, наприклад, потужності освітлювача. Чим ширший діапазон щільності, що приймається, тим з більшою детальністю передаватимуться всі малоконтрастні деталі знімка. Типовий оптичний діапазон знімка лежить в межах 0,1–2,5 D.

Освітлювач. Як освітлювач у фотограмметричних сканерах використовують спеціальні лампи або лінійки потужних світлодіодів. Перевагою ламп є великий запас яскравості, що дозволяє «просвічувати» щільніші знімки. Недоліком — значне виділення тепла і спектральна нестабільність (зміна колірного балансу з часом). Світлодіодам притаманна виняткова стабільністю і мала споживана потужність. Крім того, термін їхньої служби набагато перевищує термін служби ламп. Недолік — менший запас яскравості.

Об'єктив. Дзеркальні об'єктиви добре передають контраст дрібних деталей і вносять в зображення мінімальні геометричні і спектральні спотворення, але мають фіксоване збільшення 1:1. Перевагою лінзових об'єктивів є змінне збільшення, що дозволяє плавно змінювати мінімальний розмір пікселя.

Швидкість сканування — важливий параметр сканера, що є особливо критичним для підприємств, які виконують великі об'єми робіт з обробки документальних матеріалів і поставляють замовникам інформацію в цифровому вигляді.

Розглянуті сканери забезпечують необхідну точність і продуктивність, достатню для їх застосування у практичному цифровому фотодокументальному виробництві. Власне, ці сканери вже тривалий час широко використовуються у всьому світі. Можна сказати, що розвиток фотограмметричних сканерів досяг свого апогею і тому складно чекати від виробників революційних змін у конструкції і технології сканування. Основні сили розробників зараз направлені на створення і розвиток цифрових камер, у тому числі і для репродукційної документальної фотографії. На сьогодні

використання недорогих традиційних камер формату 230×230 мм з подальшим скануванням фільму на високоточному фотограмметричному сканері є найефективнішою і добре вивченою технологією репродукції документів на паперових носіях.

На підставі аналізу параметрів фотограмметричних сканерів можна зробити висновок, що вони цілком придатні для оцифрування мікрофільмованої на галогенідосрібній плівці статистичної інформації. Найбільш розповсюджені фотограмметричні сканери дозволяють обробляти плівку шириною до 26 см.

Результати експериментального оцінювання похибки відтворення детальності іконічних зображень при скануванні аерофільмів

Детальність аерознімка характеризується лінійним розміром елемента аероландшафту, що розрізняється в зображенні окремо, і залежить від висоти польоту та фокусної відстані аерофотосистеми (об'єктива) [4]:

$$d = \frac{H}{2R_3 f}, \quad (1)$$

де H — висота польоту (літального апарату) ЛА, f — фокусна відстань, R_3 — загальна розрізнявальна здатність сканованого зображення, причому

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2)$$

Для оцінки похибки відтворення детальності, що вноситься скануванням, виконано сканування аерофільмів з такими значеннями розрізнявальної здатності сканера: 1200 dpi, 2400 dpi, 4800 dpi, 7200 dpi та 9600 dpi, що відповідає 48, 96, 192, 288 та 384 л/мм (ліній на міліметр) відповідно. Розрізнявальна здатність аерофотоматеріалу становить 110 л/мм (що відповідає аерофотоплівці Тип 42, яку сертифіковано для участі України в міжнародному договорі Open Skyes).

В табл. 3 наведено результати оцінювання похибки відтворення детальності в процесі сканування аерофільмів. Зрозуміло, що використовуючи співвідношення (1), (2) та маючи за вхідні па-

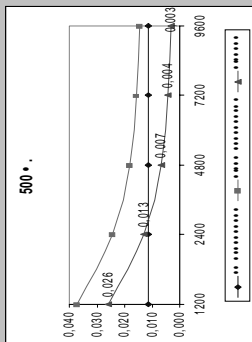
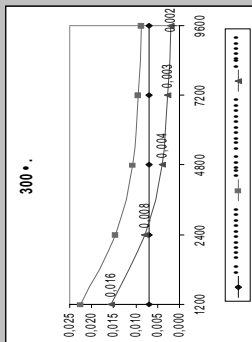
раметри тип плівки (розрізнявальну здатність), фокусну відстань аерофотоапарата (АФА), висота польоту та розрізнення сканера, можна отримати відповідні дані для певного типу комплектів аерознімальної та скануючої апаратури (рис. 2).

Слід зазначити, що замість параметрів R_1 та R_2 у співвідношення (2) доцільно вводити експериментально отримані значення відповідно до розрізнявальної здатності сканованого зображення R_1^e та розрізнявальної здатності зображення аероландшафту R_2^e . Методики отримання цих параметрів широко відомі та апробовані, в тому числі і в рамках міжнародного договору Open Skies. Тут зазначимо лише, що для отримання R_1^e та R_2^e необхідна наявність вдрукованої в аерофільм сенситограми, або зображення наземної міри (тест-об'єкта), що розміщується зазвичай на стартовому аеродромі і фотографується на початку виконання завдання повітряного спостереження [1, 5].

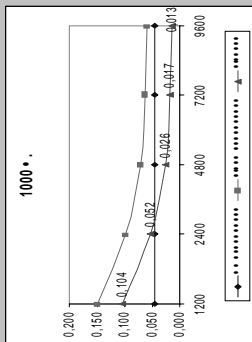
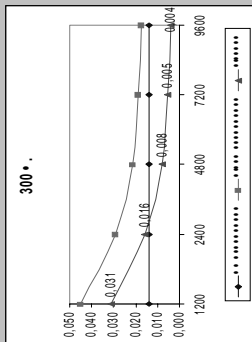
Отже, маючи відповідні дані, надалі можна визначити, які об'єкти повітряного спостереження і з якою якістю можуть бути розпізнані після оцифрування, якщо використати відомі вимоги до дешифрування певних об'єктів аерокосмічного спостереження. Деякі з них для прикладу наведено у табл. 4 [5].

Порівняння даних таблиць 3 та 4 вочевидь доводить можливість використання сучасних приладів сканування для перенесення інформації, у тому числі іконічної, з галогенідосрібних до цифрових носіїв, кількісно визначаючи при цьому ступінь інформаційних втрат на підставі даних про паспортні технічні характеристики аерофотосистем і наявних сканерів. Причому, як показали проведені дослідження, рівень похибки відтворення детальності іконічних зображень цілком прийнятний для рішення завдань виявлення, розпізнавання та аналізу стану об'єктів дистанційного зондування Землі.

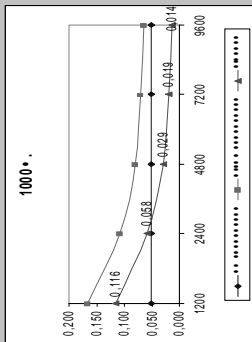
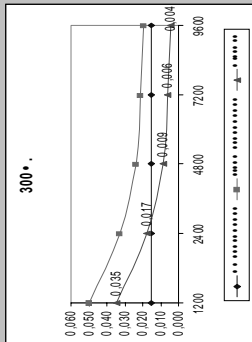
АФА-41/20



АФА-41/10



ПА-420



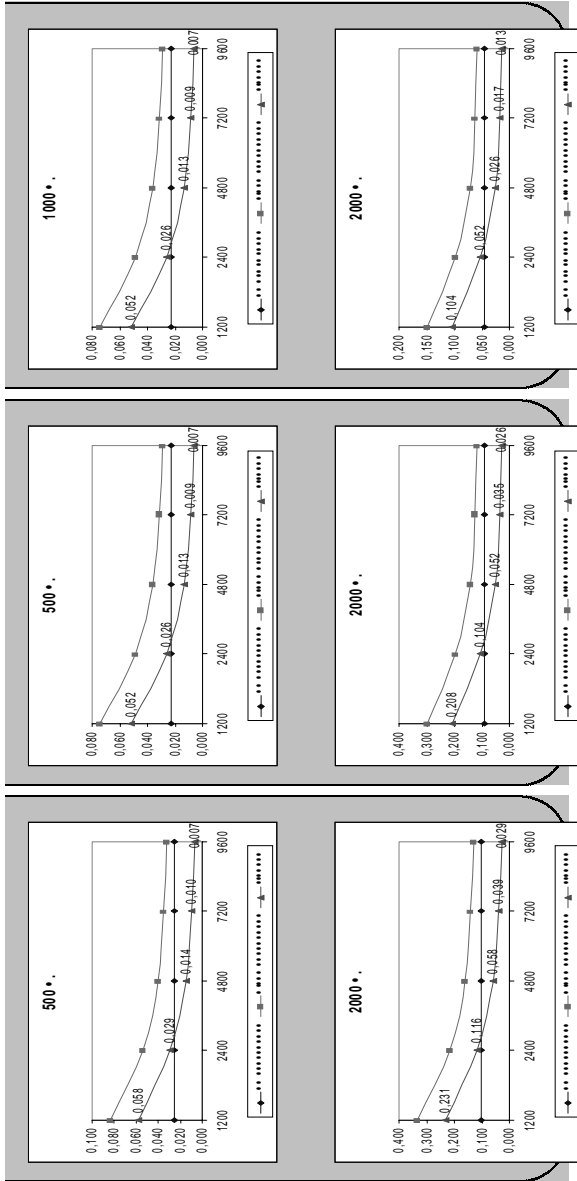


Рис. 2. Експериментально отримані залежності похибки відтворення детальності у сканованому іконичному зображенні від розрешення сканера.

Таблиця 4 — Необхідна розрізнявальна здатність для виявлення об'єктів

№ з/п	Об'єкти повітряного спостереження	Необхідна розрізнявальна здатність (м) для				
		виявлення об'єкта	розпізнання об'єкту			аналізу стану об'єкта
			до виду	до класу	до типу	
1.	Аеропорти	6	4,5	3	0,3	0,15
2.	Літальні апарати	4,5	1,5	0,9	0,15	0,025
3.	Транспортна техніка	1,5	0,6	0,3	0,05	0,025
4.	Адміністративні будови	1,5	0,9	0,3	0,15	0,025
5.	Морські порти	30	15	6	3	0,3
6.	Морські судна	7,5	4,5	0,6	0,3	0,03
7.	Залізничні станції	30	15	6	1,5	0,6
8.	Промислові підприємства	3	0,6	0,3	0,15	0,025
9.	Крупні склади	1,5	0,6	0,3	0,025	—
10.	Населені пункти	60	30	3	3	0,3
11.	Дороги	9	6	1,8	0,15	0,025
12.	Мости	6	4,5	1,5	0,9	0,3
13.	Місцевість	—	9,1	4,4	1,5	0,15

* * *

1. Nicoll Jeff. Turkish data analysis summary // Совещание международной рабочей группы по аппаратуре наблюдения IWGS (Informal Working Group of Sensors), http://www.osce.org/oscedel/iwgs/September_2005_pdf, — Ескешехір, Туреччина. — 2005. — Р. 1—24.

2. Андреев С.М., Бутенко О.С., Фролов В.Я., Чорний С.В. Принципы побудови космічних систем отримання геоінформації / Навчальний посібник. — Харків: ХУ ПС, 2007. — 233 с.

3. Інформаційні технології в збройній боротьбі: тенденції та перспективи використання. О.Ю. Пермяков, В.В. Рябцев, І.Є. Вернер / Наука і оборона. — МО України. — № 2, 2004, С. 38—41.

4. Навігаційні системи та засоби топоприв'язки аерознімків: Навчальний посібник / Чорний С. В., Афанасьев В. В., Андреев С. М., Жилін В. А., Маренич С. Ю. — Х.: ХУ ПС, 2007. — 179 с.

5. Ребрин Ю.К., Станкевич С.А., Мосов С.П. Методы количественной оценки эффективности средств аэрокосмической разведки. — К.: Киевский институт Военно- Воздушных Сил, 1997. — 260 с.

Отримано: 30.08.2008 р.